



## Evaluation de la tenue aux radiations des cristaux de PWO dans la production en serie pour CMS

G. Drobychev, A.N. Annenkov, E. Auffray-Hillemans, A.E. Borisevitch, V.I. Dormenev, P. Lecoq, M.V. Korzhik, V.D. Ligun, O.V. Mishevich, J.P. Peigneux, et al.

### ► To cite this version:

G. Drobychev, A.N. Annenkov, E. Auffray-Hillemans, A.E. Borisevitch, V.I. Dormenev, et al.. Evaluation de la tenue aux radiations des cristaux de PWO dans la production en serie pour CMS. 2000, pp.5. in2p3-00008490

**HAL Id: in2p3-00008490**

**<https://hal.in2p3.fr/in2p3-00008490>**

Submitted on 9 Mar 2001

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Octobre 24, 2000

# Evaluation de la tenue aux radiations des cristaux de PWO dans la production en série pour CMS .

G.Yu.Drobychev<sup>1,2</sup>, A.N.Annenkov<sup>3</sup>, E.Auffray-Hillemans<sup>4</sup>, A.E.Borisevitch<sup>2</sup>, V.I.Dormenev<sup>2</sup>, P.Lecoq<sup>4</sup>,  
M.V.Korzhik<sup>2</sup>, V.D.Ligun<sup>3</sup>, O.V.Missevich<sup>2</sup>, J.-P.Peigneux<sup>1</sup>, A.V.Singovski<sup>1</sup>, Ph.V.Skadorov<sup>2</sup>, R.Zouevski<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LAPP, Annecy, France

<sup>2</sup>Institute for Nuclear Problems, Minsk, Belarus

<sup>3</sup>Bogoroditsk Technical Chemical Plant, Tula region, Bogoroditsk, Russia

<sup>4</sup>CERN, Geneva, Switzerland

## Résumé

L'analyse des distributions expérimentales de l'absorption induite par radiation dans la région spectrale de scintillation pour les cristaux de production en série sont présentés. Cette analyse a été faite à l'Usine technique et chimique de Bogoroditsk et au CERN en combinant les résultats de différentes méthodes utilisant l'irradiation par différentes sources de gamma ou par des faisceaux d'électrons sur des cristaux de production. La probabilité d'installer dans le calorimètre de CMS des cristaux non conformes aux spécifications requises pour la tenue aux radiations et la probabilité de réjections de bons cristaux en utilisant les résultats de la méthode de contrôle préconisée sont estimés.

On montre, que de contrôle du dommage par radiation de tous les cristaux n'est pas nécessaire et qu'il est possible de passer à un contrôle par échantillonnage de la tenue au radiation des cristaux en mesurant leur absorption induite par radiation et en contrôlant la stabilité de la distribution de leur tenue au radiation.

## Introduction

La production des cristaux scintillants de tungstate de plomb pour la construction du calorimètre électromagnétique (ECAL) de la collaboration CMS (CMS) a démarré à l'Usine techno-chimique de Bogoroditsk (UTCB, Russie) en 2000. La quantité totale de cristaux qui seront utilisés dans le calorimètre de CMS est d'environ de 83000 dont une bonne partie est produite par l'UTCB. Tous ces cristaux seront produits et testés pendant les 5 prochaines années.

La valeur de la perte en transmission optique sous l'effet de l'irradiation est un des paramètres les plus importants de ces cristaux parce que la réduction significative de la quantité de lumière émise affecte la résolution énergétique du calorimètre électromagnétique et peut détériorer les performances prévues de l'expérience. Malheureusement, pour une production à si grande échelle pendant une période relativement courte, il est impossible d'organiser une vérification systématique de la tenue des cristaux sous irradiation dans un faisceau d'accélérateur pour tous les cristaux de taille nominale (longueur de 230 mm).

Par cette raison nous avons développé les instruments et une méthode pour organiser une analyse indirecte et rapide de la tenue des cristaux de PWO aux irradiations en mesurant l'absorption optique induite par irradiation dans la région spectrale des scintillations pour des échantillons sélectionnés [1-3]. La base de la méthode repose sur les corrélations mesurées entre la perte de la quantité de lumière dans les éléments scintillants sous irradiation dans un faisceau d'électrons de quelques dizaines de GeV avec la perte de la transmission optique dans ces éléments scintillants sous une irradiation gamma de basse énergie (~1 MeV) [3-5].

L'instrumentation mise au point est déjà installée à UTCB. Les mesures sont effectuées avec une intensité de radiation élevée de 10000 rad/h. Dans ce cas on assiste à un phénomène de saturation des dommages sous irradiation. C'est l'absorption à saturation, induite par irradiation qui est mesurée pendant ces tests.

Cet outillage a été testé et les résultats des mesures sont comparés avec des données obtenues par différentes méthodes. Une corrélation des valeurs de saturation de l'absorption induite par les radiations mesurée à l'UTCB et à l'Hôpital de Genève est présentée sur le Fig. 1. On peut voir que cette corrélation est bien linéaire et montre une bonne correspondance entre les deux méthodes. Les bons résultats des expériences sont permis d'accepter cet outillage comme système principal pour le contrôle de la tenue aux radiations des cristaux de production en série chez le producteur.

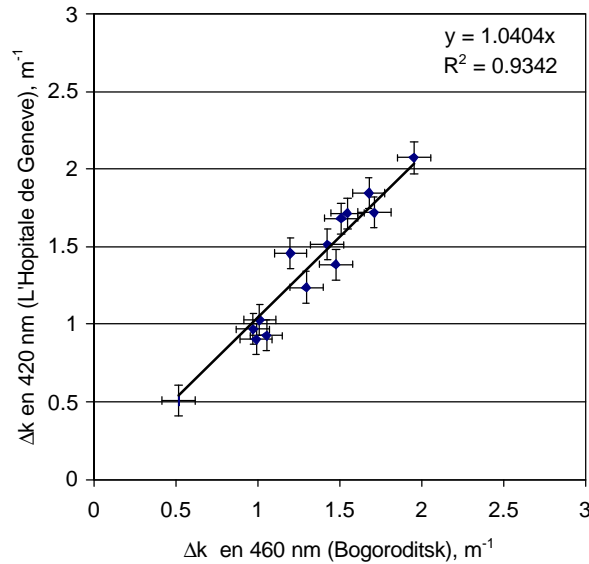


Figure 1. Corrélation des valeurs de l'absorption induite par radiation mesurée à l' UTCB et à l'Hôpital de Genève. La description détaillée de l'instrumentation et des résultats des expériences est présentée dans [6].

L'analyse de la tenue aux radiations des cristaux de PWO a été effectuée pour contrôler l'efficacité de l'optimisation de la technologie réalisée pour améliorer la tenue aux radiations, pour vérifier la fiabilité de la méthode de caractérisation des cristaux de PWO dans ce domaine et pour estimer la quantité moyenne des cristaux non conformes aux spécifications insérés dans le calorimètre et la quantité moyenne des bons cristaux rejetés par le processus de contrôle . Pendant notre test environ 1000 cristaux ont été analysées.

## La distribution de l'absorption optique induite par irradiation des cristaux de PWO.

L'utilisation dans le calorimètre de cristaux avec une tenue aux radiations plus mauvaise que le niveau de spécification imposé dépend de l'erreur de mesure sur la quantité de lumière émise, l'erreur sur l'absorption optique induite par irradiation et l'erreur sur la corrélation trouvée entre la variation, sous l'effet des radiations, de la quantité de lumière émise par des gerbes d'électrons de cristaux de longueur nominale (230 mm) et l'absorption optique induite par radiation de gamma de basse énergie (~ MeV) sur ces mêmes cristaux. Ainsi la quantité de cristaux non conformes, qui se trouveront dans le calorimètre électromagnétique peut être estimée à partir de la distribution trouvée de l'absorption induite par radiation des cristaux et de l'erreur sur sa mesure.

La quantité moyenne  $N$  de cristaux non conformes, qui peut être installée dans le calorimètre est définie par la convolution de la fonction de la distribution des cristaux selon la valeur de l'absorption induite  $F(x)$  et de  $G(x-x_0)$ , la fonction de la réponse du système de mesure:

$$N = \int_0^{x_0} F(x)G(x - x_0)dx \quad (1)$$

où  $G(x-x_0)$  représente la fonction de la distribution normale:

$$G(x - x_0) = G_0 \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - x_0)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

et  $G_0$  est un coefficient de normalisation,  $\sigma$  est l'erreur de la méthode de mesure et  $x_0$  la valeur limite admissible de l'absorption induite. Lors de la mesure, l'absorption induite des cristaux longs  $x_0$  est prise égale à  $1.5 \text{ m}^{-1}$  à la longueur d'ondes de 420 nm pour une irradiation latérale avec une source de  $^{60}\text{Co}$  avec une dose absorbée de 3 krad déposée avec une intensité de 5-15 rad/h [8].

La quantité moyenne  $M$  de bons cristaux, qui peuvent être rejetés s'écrit :

$$M = \int_{x_0}^{x_m} F(x)G(x - x_0)dx \quad (3)$$

où  $x_m$  est l'absorption optique induite maximale dans la distribution.

La distribution selon la tenue au radiation de 332 cristaux longs, produits en 1999 après l'optimisation de la technologie, est présentée sur le Fig. 2.  
Elle est approximée par la fonction de distribution normale.

$$F_1(x) = \frac{79.7}{0.58\sqrt{\pi/2}} \exp\left(-2\left(\frac{x-0.78}{0.58}\right)^2\right) + \frac{5}{0.2\sqrt{\pi/2}} \exp\left(-2\left(\frac{x-0.38}{0.2}\right)^2\right) \quad (4)$$

où x est la valeur de l'absorption induite par radiation.

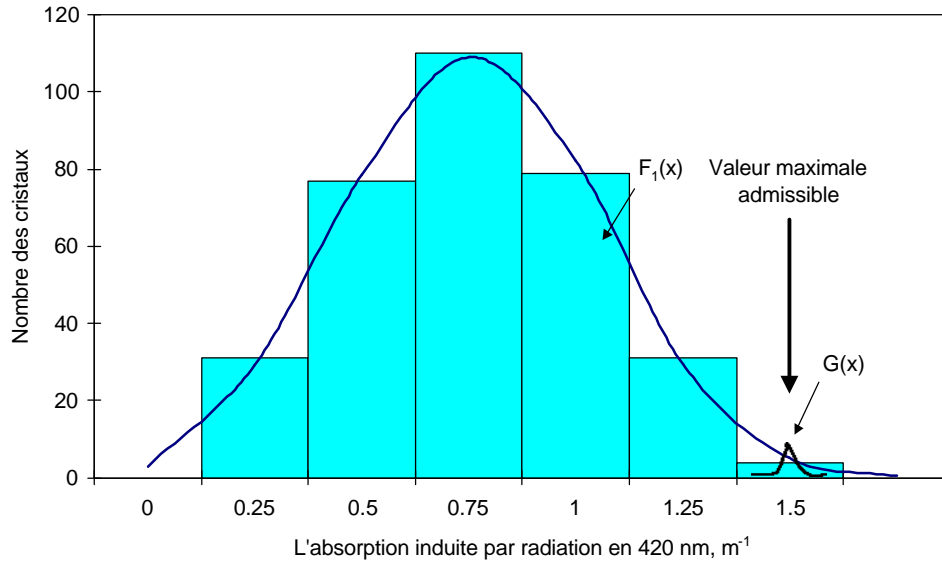


Figure 2. La distribution selon l'absorption optique à la longueur d'onde 420 nm, induite par radiation, de 332 cristaux longs, produits en 1999 après optimisation ,

La distribution selon la tenue au radiation de 211 cristaux longs, produits en 2000 après l'optimisation finale, est présentée sur la Fig. 3.  
Elle est approximée par la fonction de distribution normale.

$$F_2(x) = \frac{16.5}{0.29\sqrt{\pi/2}} \exp\left(-2\left(\frac{x-0.53}{0.29}\right)^2\right) + \frac{4.7}{0.15\sqrt{\pi/2}} \exp\left(-2\left(\frac{x-0.22}{0.15}\right)^2\right) \quad (5)$$

où x est une valeur de l'absorption induite par radiation.

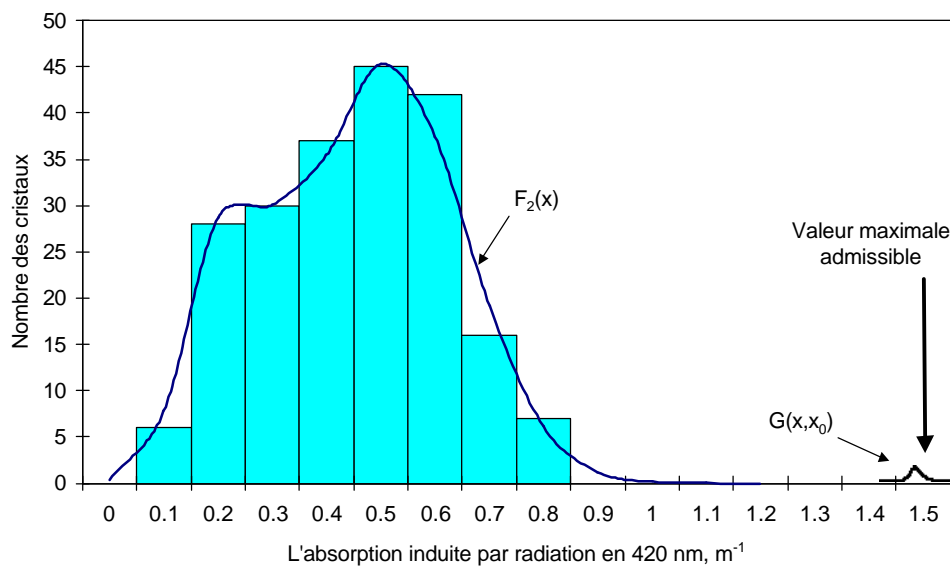


Figure 3. La distribution selon l'absorption optique ,à la longueur d'onde 420 nm ,induite par radiation de 211 cristaux longs, produits en 2000 après l'optimisation finale.

Les deux pics dans les distributions de l'absorption induite proviennent de l'utilisation pour la production des cristaux de matière première neuve mais aussi de matière première de récupération déjà dopée qui donnent des valeurs de l'absorption induite plus petites provenant d'une plus petite concentration de défauts dans ce type de cristaux.

## Evaluation d'efficacité de méthode de contrôle

Durant ces dernières années des tests de tenue aux radiations des cristaux de PWO ont été effectués avec différentes méthodes. Pendant les tests nous avons mesuré aussi bien la quantité de lumière émise que la transmission optique des cristaux de PWO après irradiation jusqu'à saturation des dommages. Les résultats obtenus jusqu'à maintenant permettent d'estimer la fiabilité de la méthode proposée de contrôle par échantillonnage de tenue aux radiations.

En utilisant :

Les mesures de l'absorption à saturation induite par radiation dans des cristaux longs, effectuées sur l'installation expérimentale décrite dans [6], avec une erreur de mesure  $\sigma_1$ , estimée expérimentalement à 1 %.

Les mesures de la perte  $\Delta I$  de quantité de lumière subie par des cristaux longs pendant leur irradiation avec un faisceau d'électrons à un taux voisin de 15 rad/h, avec une erreur de mesure  $\sigma_2$  également estimée expérimentalement à 1 %, est corrélée à la perte de transmission optique  $\Delta T$  comme :

$$\Delta I = \beta \cdot \Delta T \quad (6)$$

d'où la détermination de  $\beta = 0.81 \pm 0.01$  et l'erreur du coefficient de corrélation  $\sigma_3 = 1 \%$  [3, 5].

Alors, l'erreur statistique de la différence entre les deux distributions de perte de lumière mesurée directement et obtenue à partir de mesures de l'absorption induite de cristaux longs constitue l'incertitude maximum sur la détermination de la perte de lumière induite par la perte de transmission sous irradiation et s'exprime par :

$$\sigma_4 = \sqrt{\left(\frac{\Delta I}{\Delta T}\right)^2 \cdot \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2} = 1.63\% \quad (7)$$

Alors de (4 - 7) on peut estimer les probabilités pendant la certification d'installer des cristaux non conformes dans le calorimètre et la probabilité de rejet de bons cristaux.

Ayant mis (2), (4) et (5) dans (1) et (3) après les transformations évidentes nous obtenons les expressions intégrales, pour N et M qui ont été calculées par la méthode numérique des trapèzes. L'erreur de l'estimation inclut une partie statistique de 6 %, l'erreur sur l'intégration numérique qui s'élève à 1 % et l'erreur due à l'approximation de la fonction de la distribution d'environ 2 %.

En considérant le nombre de 83000 cristaux dans le calorimètre, nous obtenons l'estimation de la quantité moyenne des cristaux non conformes qui seront acceptés lors de l'installation dans le calorimètre et la quantité de bons cristaux qui seront rejetés pendant la certification pour les deux types de distribution.

Pour la distribution de la Fig. 2, prenant  $\sigma = \sigma_4$  et  $G_0 = 0.41$ , nous obtenons pour 332 cristaux certifiés  $N_1 = 1.15 \pm 0.08$  et  $M_1 = 0.80 \pm 0.05$ , soit pour tout le calorimètre une estimation  $N_{1t} = 288 \pm 19$  et  $M_{1t} = 200 \pm 13$ .

Pour la distribution de la Fig. 3, donc pour des cristaux de l'optimisation finale, en prenant  $\sigma = \sigma_4$  et  $G_0 = 3 \cdot 10^{-10}$ , nous obtenons pour 211 cristaux certifiés  $N_2 = 3 \cdot 10^{-18} \pm 0.2 \cdot 10^{-18}$  et  $M_2 = 6 \cdot 10^{-19} \pm 0.4 \cdot 10^{-19}$ , dont les estimations pour tout le calorimètre sont aussi basses que  $N_{2t} = 3 \cdot 10^{-15} \pm 0.2 \cdot 10^{-16}$  et  $M_{2t} = 3 \cdot 10^{-16} \pm 0.2 \cdot 10^{-17}$ .

Les estimations montrent, que l'application de la méthode proposée pour le contrôle de la tenue aux radiations basée sur la mesure de l'absorption à saturation, induite par radiation d'une source de  $^{60}\text{Co}$ , sur des cristaux longs, garantit un contrôle sûr de la qualité des cristaux. La quantité de cristaux non conformes dans le calorimètre sera de l'ordre de 300. Cela signifie une réduction de l'efficacité du détecteur comprenant 83000 cristaux de 0.4 %, ce qui semble acceptable.

Ainsi, au lieu du contrôle du dommage par radiation de tous les cristaux, il est possible d'utiliser un contrôle par échantillonnage en vérifiant la préservation de la forme de la distribution de la tenue aux radiations des cristaux.

Pour minimiser le nombre de cristaux non conformes dans le calorimètre et pour augmenter l'efficacité de production il faut garder la technologie en mesure de conserver la distribution de l'absorption induite au moins aussi bien que celle montrée dans la Fig. 2. Au contraire, si les tests montrent un glissement de cette distribution vers des valeurs plus grandes, cela signifie que des corrections immédiates de technologie de production doivent être faites par le producteur.

## Conclusion

L'analyse de la distribution expérimentale de l'absorption induite par radiation des cristaux de PWO maintenant produits en série nous a permis d'évaluer la fiabilité de la méthode de contrôle par échantillonnage et d'estimer une probabilité d'installation des cristaux non conformes dans le calorimètre électromagnétique et une probabilité de rejet de bons cristaux pendant la certification.

Notre estimation pour le calorimètre total de CMS montre que la méthode de contrôle de la tenue aux radiations par mesures de l'absorption induite dans les cristaux longs permet de garder le nombre moyen de cristaux avec une mauvaise tenue aux radiations aussi petit que 300 même dans le pire des cas. Cela signifie un niveau de dégradation acceptable de 0.4 % pour le calorimètre. Le nombre moyen de bons cristaux qui seront peut être rejetés pendant la certification est estimé à 200 ce qui est très bas.

Dans la même temps le niveau de la technologie de production des cristaux atteint dans l'année 2000 permet de construire un calorimètre qui sera pratiquement exempt de cristaux avec une mauvaise tenue aux radiations.

Les résultats présentés confirment la fiabilité de la méthode d'évaluation par échantillonnage de tenue des cristaux de PWO aux radiations au niveau du producteur. Au lieu de la mesure directe de la chute de la quantité de lumière sous un faisceau d'électrons pour tous les cristaux, il est suffisant de faire des mesures sélectifs de l'absorption optiques induite par radiation dans la région spectral des scintillation et de contrôler la forme obtenu de la distribution de l'absorption optiques induite.

## Bibliographie

- [1]. M.V. Korzhik, V.B. Pavlenko, T.N. Timoschenko, V.A. Kachanov, A.V. Singovsky, A.N. Annenkov, V. D. Ligun, I.M. Solskii, J.P. Peigneux, "Spectroscopy and Origin of Radiation Centers and Scintillation in PbWO<sub>4</sub> Single Crystals," *Phys. Stat. Sol. (a)* 154, pp. 779-787, 1996.
- [2]. A.N. Annenkov, E. Auffray, R. Chipaux, G. Yu. Drobychev, A.A. Fedorov, M. Geleoc, N.A. Golubev, M.V. Korzhik, P. Lecoq, A.A. Lednev, A.B. Ligun, O.V. Missevitch, V.B. Pavlenko, J.-P. Peigneux, A.V. Singovski, "Systematic Study of the PbWO<sub>4</sub> Crystal Short-Term Instability Under Irradiation", *Radiation Measurements*, Vol. 29, No. 1, pp. 27-38, 1998.
- [3]. A.N. Annenkov, E. Auffray, R. Chipaux, G. Yu. Drobychev, A. Fedorov, M. Geleoc, N.A. Golubev, M.V. Korzhik, P. Lecoq, A.A. Lednev, A.B. Ligun, O.V. Missevich, V.B. Pavlenko, J.-P. Peigneux, A.V. Singovski, "Control of lead tungstate crystals radiation hardness through optical transmission measurements", *VII International Conference on Calorimetry in High Energy Physics. University of Arizona Tucson, Arizona, USA, November 9-14, 1997*.
- [4]. G. Yu. Drobychev, A.N. Annenkov, E. Auffray-Hillemans, A.E. Borisevich, M.V. Korzhik, V.L. Kostylev, P. Lecoq, V.D. Ligoun, J.-P. Peigneux, "Results of PWO radiation hardness optimization", *CMS Notes* 1999/062.
- [5]. Gleb Drobychev, Optimisation des paramètres de scintillation des cristaux de tungstate de plomb pour leur application dans la calorimétrie électromagnétique de haute précision, Thèse pour obtenir le grade de Docteur de Physique. Université de Savoie, Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de physique des particules, Annecy-le-Vieux, 12 Avril 2000, 151 p.
- [6]. A. Annenkov, E. Auffray, G. Drobychev, A. Fedorov, P. Ivankin, M. Korzhik, P. Lecoq, V. Ligun, A. Lopatik, L. Matveev, O. Missevitch, R. Zouevski, J.-P. Peigneux, A. Singovski, "Equipment and Methods for Rapid Analysis of PWO Full Size Scintillation Crystals Radiation Hardness at Mass Production", *IEEE'2000 Abstr. NSS615*, Lyon, France, 15-20 October, 2000.
- [7]. A. Annenkov, V. Ligun, E. Auffray, P. Lecoq, S. Gninenko, N. Golubev, A. Fedorov, M. Korzhik, A. Lobko, O. Missevitch, J.P. Peigneux, Yu.D. Prokoskin, A. Singovski. "Radiation Damage Kinetics in PbWO<sub>4</sub> Crystals," *CMS NOTE* 008, 1997.
- [8]. E. Auffray, M. Lebeau, P. Lecoq, M. Schneegans. "Specifications for Lead Tungstate Crystals Preproduction." *CMS NOTE* 038, 1998.